

Gersdorf, Viktoria; Baumhagl, Thomas

## Die ökologische Perspektive von Kunststoffen: Handlungsbedarf für den Unterricht

*Zeitschrift für Technik im Unterricht 45 (2020) 175, S. 35-44*



Quellenangabe/ Reference:

Gersdorf, Viktoria; Baumhagl, Thomas: Die ökologische Perspektive von Kunststoffen: Handlungsbedarf für den Unterricht - In: Zeitschrift für Technik im Unterricht 45 (2020) 175, S. 35-44  
- URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-206351 - DOI: 10.25656/01:20635

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-206351>

<https://doi.org/10.25656/01:20635>

### Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

### Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

### Kontakt / Contact:

peDOCS  
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation  
Informationszentrum (IZ) Bildung  
E-Mail: [pedocs@dipf.de](mailto:pedocs@dipf.de)  
Internet: [www.pedocs.de](http://www.pedocs.de)

Mitglied der

  
Leibniz-Gemeinschaft

Dieser Beitrag ist in

**tu**

175/1.2020 erschienen



mit freundlicher Genehmigung  
der Fachzeitschrift

**tu**

ZEITSCHRIFT  
FÜR TECHNIK  
IM UNTERRICHT

**NV**  
Neckar-Verlag

**Neckar-Verlag GmbH**  
**Klosterring 1**  
**78050 Villingen-Schwenningen**  
**[www.neckar-verlag.de](http://www.neckar-verlag.de)**

# Die ökologische Perspektive von Kunststoffen: Handlungsbedarf für den Unterricht

von Viktoria Gersdorf und Thomas Baumhagl

*Technik hat Folgen – für jeden einzelnen Menschen, für die Gesellschaft und die Umwelt. Technik sollte mit ihren Folgen im Zielkonflikt artikuliert, diskutiert und abgewogen werden. Die Entscheidung zur Auswahl eines Werkstoffes für ein konkretes technisches Artefakt bringt immer Vor- und Nachteile mit sich. Daher sollten diese im Entscheidungsprozess entsprechend berücksichtigt und thematisiert werden.*

*Der vorliegende Text soll Einblicke in die Diskussion zur Verwendung von Kunststoffen in der Industrie und in unserem Alltag eröffnen und Ideen zur Thematisierung im Technikunterricht anregen. Ausgangspunkt dafür soll das für Schülerinnen und Schüler gedachte kostenlose Heft „Kunststoffe – Werkstoffe unserer Zeit“ der Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Kunststoffindustrie (AGDK) sein. An Beispielen aus der Verpackungsindustrie und an Bio-Kunststoffen sollen Fragen zur Diskussion technischer Zielkonflikte herausgearbeitet werden, um das Material technikdidaktisch einschätzen zu können. Wenn Technikunterricht, ausgehend von konkreten Bedingungen, Zwecken und Folgen eines Artefakts, die in ihm enthaltenen Kompromisse aus Interessen und Zielen betrachtet, kann er einen Beitrag zur fachlich fundierten Meinungsbildung leisten und Mündigkeit innerhalb einer technisierten und von Technik geprägten Welt fördern.*

## Kunststoffe

Kunststoffe sind meist aus Erdöl synthetisch hergestellte Werkstoffe oder abgewandelte Naturstoffe (z. B. Kautschuk) (DGUV 2004, S. 5). Sie sind chemisch betrachtet aus Makromolekülen, d. h. Polymeren aufgebaut (AGDK n. d., S. 24). Kunststoffe sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Sie sind in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen zu finden, beispielsweise in Form von Flaschen, Schnullern, in Möbeln, Kleidung, Lackfarben, Elektrogeräten, Kabelisolierungen und vielem mehr. Kunststoffe haben viele Vorteile: Sie sind witterungsbeständig, leicht, gut formbar, flexibel, aber dennoch stabil.

Doch die Witterungsbeständigkeit bringt auch einen großen Nachteil mit sich: Kunststoffe verrotten nur sehr langsam. Je nach Art kann das bis zu mehrere 100 Jahre dauern (BUND & HB-Stiftung 2019, S. 34). Unachtsam geworfener Kunststoffmüll verschmutzt nicht nur unsere Straßen,

Wiesen und Wälder, sondern gelangt auch über Flüsse in die Weltmeere. Da Kunststoffteile auf ihrem langen Weg ins Meer kleinergerieben werden, liegen sie dort oft in Form von so genannten „Mikrokunststoffen“ vor. Darunter versteht man eine Partikelgröße kleiner als 5 mm (Landesanstalt für Umwelt

BW 2020). Man unterscheidet dabei zwischen primären und sekundären Mikrokunststoffen. Primäre Mikrokunststoffe sind zum Beispiel unmitelbare Partikel aus der Kosmetik- und Körperpflegeindustrie (Typ A) oder entstehen bei der Nutzung zum Beispiel durch Abrieb von Autoreifen oder lösen sich aus Fasern synthetischer Textilien beim Waschen (Typ B). Sekundäre Mikrokunststoffe entstehen durch Zerfall größerer Kunststoffteile beim Verwitterungsprozess durch Wellenbewegung und Sonneneinstrahlung (BUND 2019, S. 4). Solche Partikel werden über die Nahrungskette von Meerestieren aufgenommen, können nicht ausgeschieden werden und verbleiben in ihrem Magen (vgl. Abb. 1). Darüber gelangen sie auch zu Seevögeln oder direkt zu uns Menschen.

Aufgrund solch weitreichender Folgen für Mensch und Umwelt sollte bei technischen Artefakten immer hinterfragt werden, ob die Verwendung von Kunststoffen zwingend notwendig ist oder ob auch vergleichbare Alternativen möglich sind. Das ist die zentrale Frage, der im vorliegenden Artikel nachgegangen wird.

Bevor konkrete Beispiele eröffnet werden, lohnt sich zunächst eine systematische Betrachtung der Dimensionen von und Erkenntnisperspektiven auf Technik nach Günter Ropohl zur Orientierung und besseren Verortung aus fachdidaktischer Sicht.

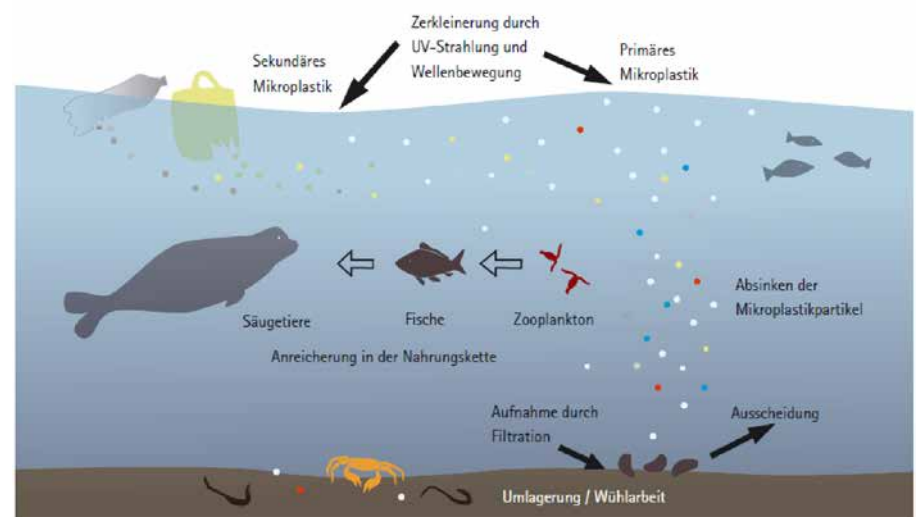


Abbildung 1: Verteilung von Mikrokunststoffen in der Meeresumwelt (BUND & HB-Stiftung 2019, S. 5).



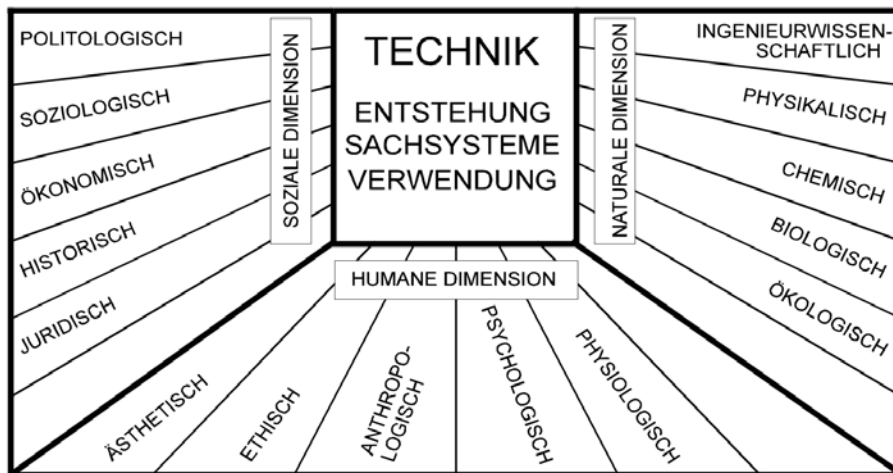


Abbildung 2: Dimensionen von und Erkenntnisperspektiven auf Technik (Ropohl 2009, S. 32).

## Erkenntnisperspektiven auf Technik nach Ropohl

Der Mensch hat ein Bedürfnis, stellt entsprechend Technik her, benutzt, optimiert und bewertet sie. Er selbst sowie die Gesellschaft sind dadurch von Technik betroffen. Technik hat neben der persönlichen Bedeutung immer auch gesellschaftlich-soziale Zusammenhänge und Auswirkungen.

Unabhängig vom mehrperspektivischen Ansatz der Technikdidaktik mit seinen Zielperspektiven (z. B. nach Wilkening oder Sachs) verortet der Technikphilosoph Günter Ropohl das weite Feld der Technik innerhalb drei übergeordneter Dimensionen (vgl. Abb. 2). Der Blick auf Technik erfolgt ausgehend von einer sozialen, humanen und naturalen Dimension. Jede dieser drei Dimensionen enthält weitere einzelne wissenschaftliche Erkenntnisperspektiven. Je mehr diese Perspektiven bei technischen Themen bzw. Fragestellungen berücksichtigt und erörtert werden, desto umfassender wird die Gesamtbetrachtung.

Dieses Konzept von Ropohl birgt das Potential, elementare Zugänge zu komplexen sozio-technischen Zusammenhängen zu eröffnen und diese zu strukturieren. Unseres Erachtens kann diese Sichtweise in vereinfachter reduzierter Form im Sinne eines *advance organizers* als roter Faden für Unterrichtseinheiten im Technikunterricht eingesetzt werden, um das Knüpfen eines kognitiven Netzes bei den Schü-

lerinnen und Schülern anregen und dadurch eine mehrperspektivische Sichtweise auf Technik fördern zu können.

Im vorliegenden Artikel sollen solche unterschiedlichen Sichtweisen exemplarisch im Blick auf den Werkstoff und Themenbereich der Kunststoffe diskutiert werden, um Technik aus ihrer Finalität heraus und im Hinblick auf ihre Folgen beurteilen und bewerten zu können. Ropohl formuliert bereits 1979: „Wenn aber der Biotop zum Technotop geworden ist, muss das technische Handeln der Stabilisierung des Ökosystems größte Aufmerksamkeit schenken“ (Ropohl 2009, S. 34). Seither hat sich die Technikfolgenabschätzung als eigenständige Disziplin etabliert. Dennoch sollten Hersteller, Benutzer und auch nur Betroffene von Technik sich bei jedem Einzelfall für ihr konkretes Handeln im Zielkonflikt entscheiden und dies entsprechend begründen und reflektieren können.

## Analyse des Heftes „Kunststoffe – Werkstoffe unserer Zeit“ der Arbeitsgemeinschaft Deutsche Kunststoffindustrie (AGDK)

Das für Schülerinnen und Schüler gedachte Buch „Kunststoffe – Werkstoffe unserer Zeit“ der Arbeitsgemeinschaft Deutsche Kunststoffindustrie behandelt verschiedene inhaltliche Aspekte

zu Kunststoffen von der Herstellung mit geschichtlichen Zwischenschritten bis zum Recycling und verschiedenen Betrachtungs- und Anwendungsbereichen. Wie der Name der Herausgeberschaft bereits deutlich macht, handelt es sich hier um einen Zusammenschluss von Unternehmen aus der Kunststoffbranche. Es ist daher zu erwarten, dass die behandelten Inhalte durch eine ökonomische Brille betrachtet werden. Dies sollte bei einer möglichen Thematisierung im Technikunterricht auch zur Sprache kommen.

Zusätzlich zur angebotenen schriftlichen Lektüre kann weiteres Material wie eine Probensammlung oder ein Experimentierkoffer für die Grundschule bestellt werden (vgl. weitere Materialien der AGDK).

Nachfolgend werden zentrale Inhalte des Heftes analysiert und kommentiert. Einleitend soll betont werden, dass wir uns aus Platzgründen entschieden haben, das „Schulbuch“<sup>1</sup> nicht zunächst unkommentiert darzustellen und erst im Anschluss daran zu bewerten. Die Zusammenhänge müssen so nicht ein zweites Mal beschrieben werden. Allerdings muss man sich beim Lesen bewusst sein, dass Darstellung und Kommentar nicht eindeutig voneinander zu trennen sind.



Abbildung 3: Titelseite des Heftes der AGDK Deutsche Kunststoffindustrie (AGDK n. d.).

<sup>1</sup> Mit diesem Begriff wird das Buch beworben: <https://www.plasticseurope.org/de/resources/kunststoff-schule/schulbuch-kunststoffe-werkstoffe-unserer-zeit>

Das Heft wird in vier große Kapitel eingeteilt: Teil A: Die Welt der Kunststoffe S. 4–31, Teil B: Vom Rohstoff zum Kunststoff S. 32–51, Teil C: Vom Kunststoff zum Fertigprodukt S. 52–71 und Teil D: Kunststoffe und Umwelt S. 72–93. Irritierenderweise ist – trotz 18. durchgesehener Auflage – kein differenziertes Inhaltsverzeichnis [!] zu finden. Nur zu Beginn der jeweiligen Teile wird eine Untergliederung vorgenommen (z. B. S. 7). Man muss sich somit durch das Heft durchblättern und kann keinen unmittelbaren systematischen Zugang unter spezifischen Fragestellungen oder Perspektiven zum Inhalt vornehmen.

## Die Welt der Kunststoffe

In Teil A wird in das Thema Kunststoffe eingeführt. Die vier Kapitel beschäftigen sich mit Kunststoffen im Automobil (S. 8–11) als Beispiel für ihr Vorkommen in Alltagsprodukten, mit der Geschichte (S. 12–15) und den Rohstoffquellen sowie der Menge an produzierten Kunststoffen (S. 16–19). Außerdem werden Kunststoffe definiert, in die typischen drei Kategorien eingeteilt (S. 24 f.) und vorteilhafte Materialeigenschaften auf den Automobilbau bezogen (S. 20–23). Erkennungsversuche, die man anhand der zusätzlich bestellbaren Kunststoffproben umsetzen kann, werden auf Seite 27–31 beschrieben.

Das erste Kapitel heißt: „Ein Auto ohne Kunststoffe? Verwendung von Kunststoffen in der Autoindustrie“. Der erste Arbeitsauftrag lautet, sich zu überlegen, in wie vielen Bauteilen eines Automobils Kunststoffe verwendet werden. Nach einer Auflistung von ca. 140 Bauteilen soll man sich vorstellen, wie ein Auto ohne Kunststoffe aussähe. Welche alternativen Werkstoffe im Auto aber benutzt werden könnten, wird nicht erwähnt. Ein „Schulbuch“ (denn so wird das Buch beworben) sollte dies aber nicht tun, sondern zunächst nach den Zwecken und Bedingungen des Artefakts fragen und dann Vor- und Nachteile unterschiedlicher Werkstoffe abwägen. Teil A wird aufgrund der Schwerpunktsetzung des vorliegenden Artikels nicht weiter vertieft.

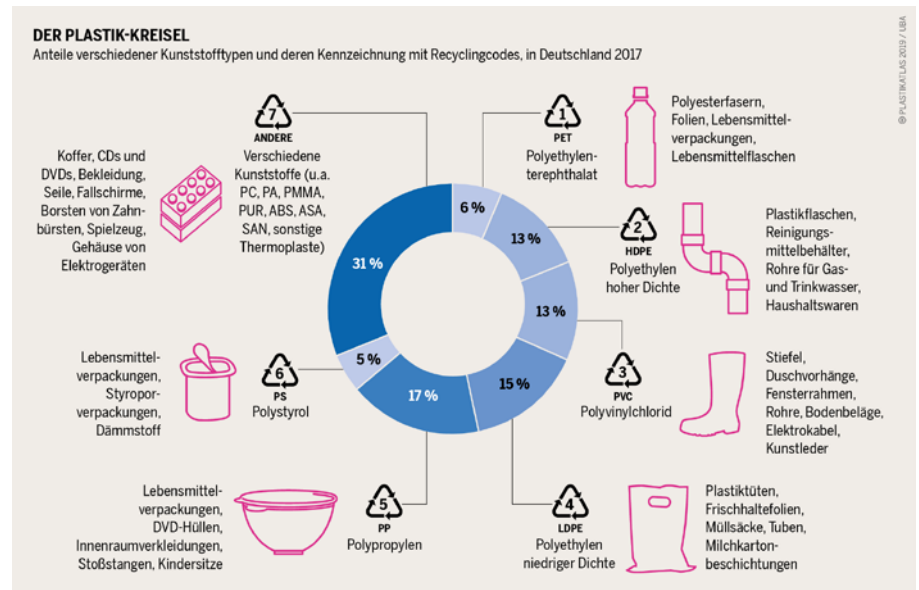


Abbildung 4: Anteile exemplarischer Kunststoffarten, die 2017 in Deutschland produziert wurden (Umweltbundesamt 2018; zitiert nach BUND & HB-Stiftung 2019, S. 11).

## „Energiesparen“ mit Kunststoff[en]

Ein erstes Mal werden ökologische Zusammenhänge in Teil B „Vom Rohstoff zum Kunststoff“ auf nur einer Seite unter dem zunächst unerwarteten Titel „Energiesparen mit Kunststoffen“ angerissen. Es wird in Rechenbeispielen darauf verwiesen, was man mit 100 kg Erdöl alles machen kann: mit dem Auto (nur) von Hamburg nach Mannheim und zurück fahren, eine Wohnung eine Woche lang heizen oder aber unzählige Produkte herstellen, die unser Leben vereinfachen könnten (vgl. S. 47). Darauf folgen Informationen zur Verfahrenstechnik und zu den chemischen Wirkzusammenhängen.

30 Seiten später, auf S. 79, wird dann erwähnt, dass viele Kunststoffe zu langlebigen Produkten verarbeitet werden, die auch aus kurzlebigen, wie zum Beispiel Verpackungen, durch Recycling hergestellt werden können. Nicht nur das Rechenbeispiel verwirrt, sondern auch die Verknüpfungen sind unlogisch. Die Herstellung eines Joghurt-Bechers aus Polystyrol zum Beispiel hat nichts mit einer Autofahrt zu tun. Ohne Eröffnung sinnvoller Sachzusammenhänge wird hier ein völlig falscher Eindruck bezüglich ökologischer Probleme suggeriert: Es klingt so, als ob Kunststoffe vorwiegend in langlebigen Produkten vorkämen und diese keine Probleme in der Umwelt verursachten.

Vergleicht man die Auswahl des AGDK mit einer des BUND, die auf Zahlen des Umweltbundesamtes basieren, entsteht ein anderer Eindruck. Abbildung 4 zeigt die Anteile verschiedener Kunststoffarten, die 2017 in Deutschland insgesamt produziert wurden.

Hier sind beträchtliche Mengen an Einmalprodukten und Verpackungen aus Kunststoffen zu erkennen. Rechnet man die Anteile von PET, HDPE, LDPE, PP und PS aus Abbildung 4 zusammen (auch wenn bei HDPE, PP und PS auch langlebige Produkte aufgelistet werden), landet man bei einem Anteil um 50% für kurzlebige Kunststoffprodukte [!] der gesamten Kunststoffproduktion im Jahr 2017 in Deutschland. Im Heft der AGDK werden Kunststoffe dagegen nur in Zusammenhang mit der Wiederverwendung in langlebigen Gebrauchsgütern genannt. Abbildung 5 gibt einen Überblick über die durchschnittliche Nutzungsdauer von Kunststoffprodukten, strukturiert nach Anwendungsbereichen.

## Vom Kunststoff zum Fertigprodukt

Zu Beginn von Teil C werden technische Verfahren zum Ur- und Umformen von Kunststoffen beschrieben. Auf S. 70 wird unter der Überschrift „Dynamische Kunststoffindustrie“

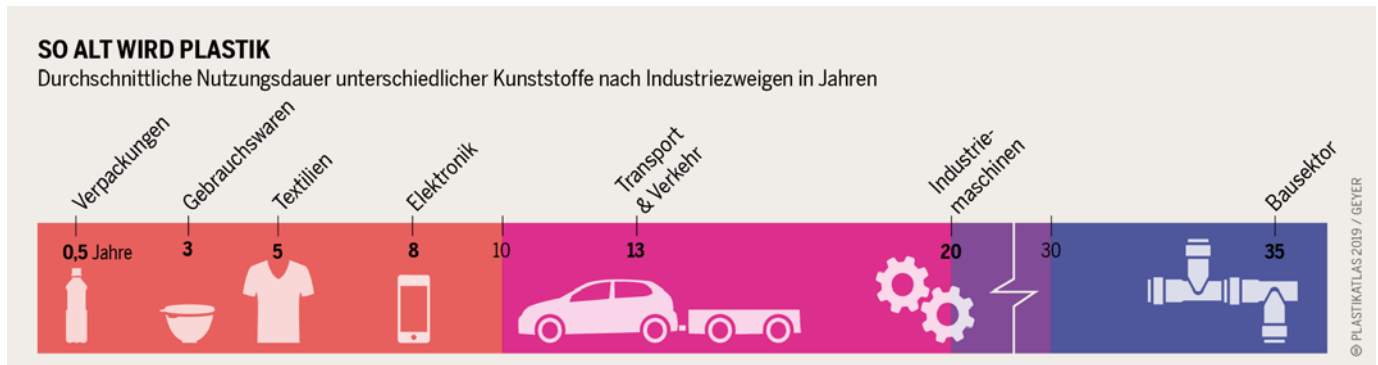


Abbildung 5: Durchschnittliche Nutzungsdauer von Kunststoffen nach Anwendungsbereichen (Geyer, R.; Jambeck, J.; Law, K. L. 2017; zitiert nach BUND, 2019a, S. 12).

nochmals die Vielseitigkeit und Flexibilität von Kunststoffen betont. Hier wird die Anwendung wieder aus dem Produktkontext herausgelöst. Das ingenieurwissenschaftliche Abwägen von Vor- und Nachteilen unterschiedlicher Werkstoffe bei der Planung und Konstruktion neuer Artefakte fällt somit unter den Tisch. Kunststoffe werden stattdessen in Bezug auf die Energiebranche sehr positiv dargestellt und sogar „als entscheidender Problemlöser in Sachen Klimaschutz“ (AGDK n. d., S. 70) bezeichnet. Dies kann für den Bereich der erneuerbaren Energien durchaus korrekt sein, aber nicht auf alle Bereiche und Einsatzbedingungen pauschalisiert werden, schon gar nicht, wenn die Folgen umfassend berücksichtigt werden. Es entsteht ein verzerrtes Bild, das auf die Herkunft des Buches zurückzuführen ist. Mit Ropohl (s. o.) argumentiert: Es werden die chemische und die ökonomische Perspektive eingenommen, aber nicht aus Sicht verschiedener gesellschaftlicher Akteure, sondern einseitig aus Sicht der Kunststoffhersteller. Nachteile oder Probleme aus anderen wichtigen Perspektiven werden vernachlässigt oder nicht erwähnt. Eine sozio-ökonomische Sicht des Menschen als Benutzer und Betroffener oder auch von Tieren als reine Betroffene werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt. Einseitige Betrachtungsweisen, wie hier durch das Heft der AGDK, fördern das sachlich kritische Beurteilen und Bewerten im Technikunterricht nicht, sondern verzerren es.

Auch zur Berufsorientierung wird eher Verwirrung gestiftet als die Sache geklärt. Auf Seite 67f. werden unter der Überschrift „Berufe rund um Kunststoff“ vier Berufe vorgestellt, in denen

schwerpunktmäßig mit Kunststoffen gearbeitet wird. Auf Seite 69 sind jedoch zehn Bilder von Berufen dargestellt, die in erster Linie nichts mit Kunststoffen zu tun haben. Es ist klar, dass ein Tischler, Dachdecker oder Gas- und Wasserinstallateur zwar auch mit Kunststoffen arbeitet, aber nicht in erster Linie. Der Arbeitsauftrag auf Seite 68 regt die Schülerinnen und Schüler an, sich zu überlegen, warum bei den bildlich aufgeführten Berufen Kenntnisse über Kunststoffe wichtig seien, führt sie aber auf falsche Fährten. Eine Modellbauerin wählt ihre Werkstoffe je nach Modell, Anforderungen und Zweckmäßigkeit aus. Hier sind Kunststoffe erneut als Ausgangspunkt gesetzt, der Gesamtkontext wird ausgeblendet und geradezu verschleiert.

## Kunststoffe und Umwelt

Der letzte Teil des Buches, Teil D, nennt sich „Kunststoffe und Umwelt – Die Bilanz ist positiv“ (AGDK n. d., S. 73). In diesem Oberkapitel werden Kunststoffe schwerpunktmäßig unter ökologischer Perspektive betrachtet. Es werden Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung, Verpackungen und in einem kleinen Abschnitt auch Kunststoffe im Meer beschrieben. In diesem Kapitel werden gewisse Grundzüge, die sich durch das ganze Buch hindurchziehen, nochmals deutlich: Problematische Themen werden tendenziell kurz gehalten und stattdessen wird schnell zu positiven Aspekten umgeschwenkt. Es fällt erneut auf, dass hauptsächlich Beispiele aus dem langlebigen Bereich, wie Transport-

mittel oder elektrische Geräte, aufgeführt sind und Einwegprodukte fast nicht auftauchen. Nachhaltigkeit wird zuerst erklärt, um sie dann an einem Beispiel bezogen auf die Kunststofftechnik im Bereich der erneuerbaren Energien zu konkretisieren. Dabei wird aber nur erwähnt, dass Kunststoffe in diesem Bereich eine besondere Rolle spielen. Es wird angegeben, dass Rotorblätter von Windkraftanlagen aus „faserverstärkten Kunststoffen“ bestehen und die Kunststoffe „zum Nutzen der Umwelt eingesetzt werden“ (AGDK n. d., S. 74). Wie die konkreten technischen Zusammenhänge sind, die Kunststoff hier so auszeichnen, wird nicht erläutert. Außerdem werden die isolierenden Eigenschaften der Kunststoffe bei Sonnenkollektoren angeführt (S. 76). Warum die Kunststoffe jedoch den Wirkungsgrad verbessern und welche Vor- und Nachteile sie, sowohl bei Windkraftanlagen als auch im Bereich der Solarenergie, mit sich bringen und was alternative Werkstoffe und Lösungsmöglichkeiten wären, wird nicht beschrieben.

Was inhaltlich erforderlich wäre, soll nachfolgend am Beispiel von Verpackungen deutlich gemacht werden.

## Was lässt der Band aus?

Damit Schülerinnen und Schüler die Zweckmäßigkeit und die Folgen des Einsatzes von Kunststoff bewerten können, müssen sie ein konkretes Beispiel analysieren. Dazu reichen die Informationen, die „Kunststoffe, Werkstoffe unserer Zeit“ bietet, nicht aus. Das soll nun an zwei Beispielen verdeutlicht werden.



## Beispiel Verpackungen

In der Lebensmittelindustrie sind Verpackungen kaum zu umgehen. Hier gilt es zunächst zu fragen, für welchen konkreten Kontext welche Verpackung geeignet ist. Im Heft der AGDK werden, ohne diese Frage zu stellen, positive Eigenschaften von Kunststoffen in diesem Bereich angeführt: Sie haben ein geringes Gewicht, sind flexibel auf verschiedene Formen anpassbar und sorgen gleichzeitig dafür, dass die Lebensmittel steril und sichtbar verpackt sind. Jede Verpackung kann individuell auf das Produkt angepasst werden. Hierzu zählt beispielsweise das Wiederverschließen einer Wurst- oder Käseverpackung oder Fertiggerichte, die direkt aus der Verpackung gegessen werden können, wie zum Beispiel ein fertiger Salat (Verbraucherzentrale Niedersachsen e. V. n. d.). Lebensmittel wie Wurst oder Käse, die man offen an einer Frischetheke kauft, kann man sich aber beispielsweise auch in mitgebrachte, verschließbare Glasbehälter mit Deckel geben lassen. Obst und Gemüse kann in mitgebrachten Körben oder Netzen transportiert werden, ohne dass eine Einmalverpackung notwendig ist. Durch das Verbot von Kunststofftüten im Handel haben viele Geschäfte auf Papiertüten umgestellt, die beim Transport nur bei wenigen Produkten Nachteile im Vergleich zu Kunststoffen mit sich bringen. Ausgangspunkt für technische Entscheidungsprozesse ist immer der konkrete Fall und mögliche Lösungsansätze. Es ist ein Trugschluss anzunehmen, Kunststoffe seien unersetzlich für die Lebensmittelindustrie, nur weil bei vielen Produkten die Entscheidung für diesen Werkstoff getroffen wird bzw. wurde. Die AGDK fragt, in welchen Artefakten Kunststoffe vorkommen, und leitet daraus deren Bedeutung ab. Ein Techniker fragt, wie ein Artefakt zweckmäßig unter Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen umgesetzt werden kann, beurteilt mögliche Lösungen und entscheidet sich für einen Lösungsweg.

Im Heft der AGDK wird auf Seite 85 das geringe Gewicht als Faktor für ei-

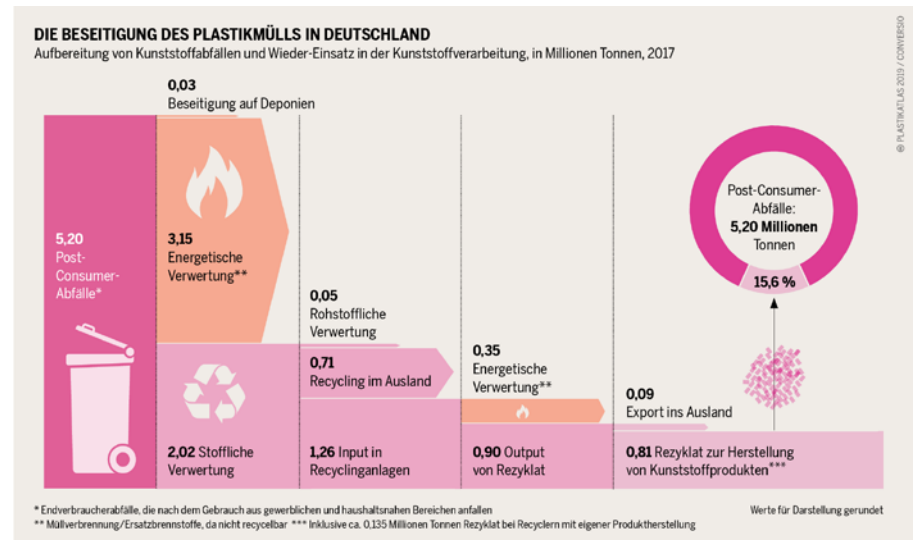


Abbildung 6: Recycling des Kunststoffabfalls in Deutschland im Jahr 2017 (BUND & HB-Stiftung 2019, S. 36).

nen kraftstoffsparsameren Transport angeführt. So können mehr Lebensmittel mit einem Transport von einem Ort zum nächsten gebracht werden. Zusätzlich wird angemerkt, dass sich durch Kunststoffverpackungen besonders über die teils langen Transportwege Frische, Qualität und Haltbarkeit garantieren ließe, da Lebensmittel eingeschweißt oder vakuumiert werden könnten, um sie vor äußeren Einflüssen schützen zu können. Der Käufer geht davon aus, dass das Produkt mindestens so lange haltbar ist wie aufgedruckt, was auch über die Kunststoffverpackung realisiert werden könne. Ebenfalls ließen sich über Aufdrucke auf der Verpackung wichtige Informationen bezüglich Hinweisen für Allergiker oder zu Nährwerten angeben (Verbraucherzentrale Niedersachsen e. V. n. d.). Diese Aspekte lassen sich allerdings genauso mit Papiertiketten erreichen.

Hier liegt ein Zielkonflikt zur Verpackung von Lebensmitteln vor, der am Beispiel von Joghurt im Unterricht konkret thematisiert werden könnte. Es kann ermittelt werden, welche Argumente gegen und für den Einsatz von Kunststoff oder Glas sprechen. Nach Recherche und Diskussion kann beispielsweise in einem Planspiel eine mögliche Entscheidung getroffen, bewertet und abschließend reflektiert werden.<sup>2</sup>

## Wiederverwendung von Kunststoffen: Das Recycling

Das bekannteste Beispiel für eine Verpackung aus Kunststoff ist sicherlich die PET-Flasche, die es in allen möglichen Größen und Formen zahlreicher Marken gibt. Sie wird aus Kunststoffgranulat gefertigt, welches unter Feuchtigkeitsentzug eingeschmolzen wird. Der flüssige Kunststoff wird anschließend durch Spritzguss oder Extrusionsblasformen in Form gebracht. So entstehen aus verschiedenen Kunststoffen unterschiedliche Flaschen, meist aus Polyethylenterephthalat, kurz: PET.

Diese Flaschen werden in der Regel zu Einwegprodukten gezählt und bringen ebenfalls einige Vor- und Nachteile mit sich. Besonders von Vorteil für den Verbraucher ist, dass sie leicht und gleichzeitig robust sind. Wenn sie einmal heruntergefallen, gehen sie in der Regel nicht kaputt, was ein entscheidender Nachteil bei Glas wäre. Zusätzlich sind sie sehr günstig, was ein weiteres Kaufargument sein kann. Man erhält sie außerdem als Mehrweg- oder Einwegflasche. Mehrwegflaschen werden 15 bis 25 Mal neu befüllt<sup>3</sup>, ehe sie recycelt werden. Einwegflaschen hingegen werden, wie der Name bereits besagt, nicht neu befüllt, sondern direkt entsorgt. Dabei ist zu unterscheiden, ob es sich um energetisches, werkstoffliches

<sup>2</sup> Ein Bericht über ein Planspiel „zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung“, das im Auftrag des Öko-Instituts Freiburg erstellt wurde, kann abgerufen werden unter [https://www.team-ewen.de/files/planspiel\\_bericht.pdf](https://www.team-ewen.de/files/planspiel_bericht.pdf)

<sup>3</sup> <https://www.test.de/Verpackungen-fuer-Mineralwasser-Mehrwegflaschen-besser-4293824-0/>



Abbildung 7: Kompostierbarkeitszeichen der DIN CERTCO und der European Bioplastics nach EN 13432 (Wikipedia 2008).

oder rohstoffliches Recycling handelt. Beim energetischen Recycling werden die Kunststoffteile verbrannt und die freigesetzte Energie zur Strom- bzw. Strom- und Heizwärmeerzeugung genutzt. Die stoffliche Verwertung hingegen entspricht mehr dem, was die meisten Menschen unter Recycling verstehen: Der Rohstoff selbst wird hier wiederverwendet. Beim werkstofflichen Recycling werden die PET-Flaschen geschreddert und das Granulat gereinigt. So kann sichergestellt werden, dass jegliche Etikettenreste verschwunden sind. Das entstandene Material wird jedoch ca. nur zu einem Viertel (Sträter 2018) wieder für die Flaschenproduktion verwendet. Der größte Teil geht in die Herstellung von Folien oder Fasern beispielsweise für Pullover. Beim rohstofflichen Recycling werden vermischte Kunststoffe über chemische Reaktionen in niedermolekulare Bestandteile umgeformt und weiterverwendet: durch Polymersynthese oder als Reduktionsmittel in der Stahlerzeugung (diese Informationen können im besprochenen Band der AGDK auf S. 90 nachgelesen werden, hier ist er durchaus hilfreich).

Auch das energetische Recycling wird bei den PET-Flaschen durchaus angewendet, d. h. sie werden verbrannt. Exakt hier liegt ein weiterer zentraler technischer Zielkonflikt aus ökologischer Sicht vor: Ist es sinnvoller, einen Rohstoff stofflich anstatt nur thermisch zu recyceln? Können durch stoffliches Recycling endliche Ressourcen wie Erdöl eingespart werden? Abbildung 6 gibt einen Überblick darüber, wie Kunststoffabfälle in Deutschland im Jahr 2017 verwertet wurden.

Betrachtet man Kunststoffprodukte aus PVC, wie z. B. Gummistiefel oder Duschvorhänge (vgl. Abb. 4), muss man auch deren Zusatzstoffe berücksichtigen. Hierzu zählen zum Beispiel Weichmacher und hormonaktive Stoffe (Senft 2016). Prinzipiell handelt es sich bei Weichmachern um Stoffe, die den Kunststoff geschmeidiger und elastischer machen, sodass er zum Beispiel als Dichtungen oder Ähnliches eingesetzt werden kann. Es gibt eine Vielzahl von Weichmachern, die in ihrer Grundeigenschaft jedoch alle relativ ähnlich sind. Ein weiterer gemeinsamer Faktor aller Weichmacher ist, dass sie sich mit der Zeit aus dem Kunststoff lösen. Dies erkennt man, wenn ein elastischer Kunststoff nach einiger Zeit hart und spröde geworden ist. Das bedeutet, dass die enthaltenen Weichmacher entweder in die Umwelt freigesetzt oder bei direktem Kontakt mit dem menschlichen Körper aufgenommen werden. Problem hierbei sind die gesundheitlichen Risiken, die diese Stoffe, wie Phthalate oder Bisphenol A, mit sich bringen. Sie können schädlich für die Organe sein, hormonverändernd wirken oder sogar Krebs verursachen.

### Beispiel Bio-Kunststoffe

Das Heft der AGDK widmet dem interessanten Thema der „Bio-Kunststoffe“ nur die letzten beiden Seiten. Es wird dabei zwar zu Recht darauf hingewiesen, dass die biologische Abbaubarkeit von Kunststoffen grundsätzlich von den konkreten technischen Bedingungen abhängt und „erst durch ganzheitliche Detailbetrachtungen [...] zuverlässige Aussagen über das Umweltverhalten eines Stoffes getroffen werden [können]“ (AGDK n. d., S. 93). Diese Erläuterungen bleiben jedoch ohne eine zusätzliche Detailbetrachtung sehr oberflächlich.

Bei Bio-Kunststoffen handelt es sich um Produkte, deren „Rohstoffe landwirtschaftlich erzeugt werden“ (Verbraucherzentrale 2018). Jedoch gibt es auch hier deutliche Unterschiede, die teilweise nur durch kleine Wortabänderungen sichtbar werden. Daher bilden sie ein exemplarisches Beispiel für ein mehrperspektivisches kritisches Hinterfragen von Ursprung, Produkti-

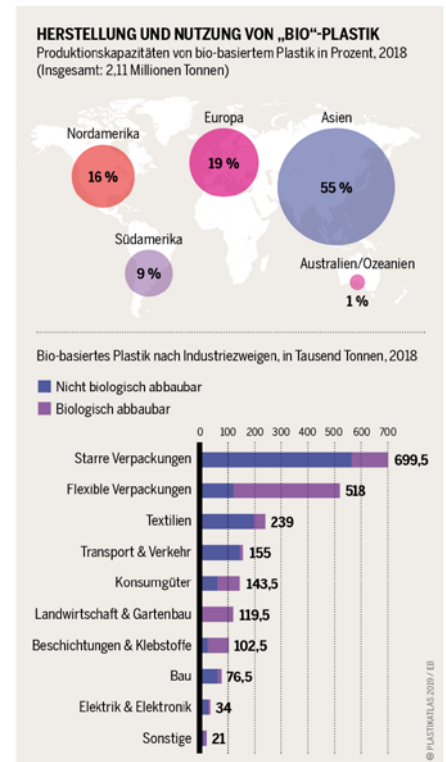


Abbildung 8: Herstellung, Nutzung und biologische Abbaubarkeit von Bio-Kunststoffen (Bioplastics Market Data 2018; zitiert nach: BUND & HB-Stiftung 2019, S. 34).

onsbedingungen, Inhaltsstoffen und tatsächlichen Eigenschaften, die erforderlich wären, um eine Technikfolgenabschätzung zu einem Produkt durchführen zu können.

Beim Thema Bio-Kunststoffe ist es wichtig, die jeweilige Bezeichnung genau zu differenzieren. So stößt man in Verbindung mit einigen Produkten beispielsweise auf den Begriffszusatz „biobasiert“. Das bedeutet, dass der Rohstoff, aus dem das Produkt besteht, einen natürlichen Ursprung hat beziehungsweise nachwachsend ist (Bunk & Schubert 2016, S. 23). Keine Aussage macht dieser Begriff zu zusätzlichen Inhaltsstoffen wie Weichmachern oder zur Kompostierbarkeit des Produktes. Daher macht der Begriff „biobasiert“ zumindest bei der Verwertung keinen Unterschied. Biobasierte Kunststoffe werden ebenso verbrannt wie herkömmliche Kunststoffe. Dies liegt zum einen daran, dass die Maschinen in Kompostwerken nicht zwischen abbaubaren und nicht abbaubaren Kunststoffen unterscheiden können und daher prinzipiell alles, was kunststoffähnliches Aussehen hat, aussortieren. Zum anderen ist nicht unbedingt bekannt (Bunk & Schubert 2016,



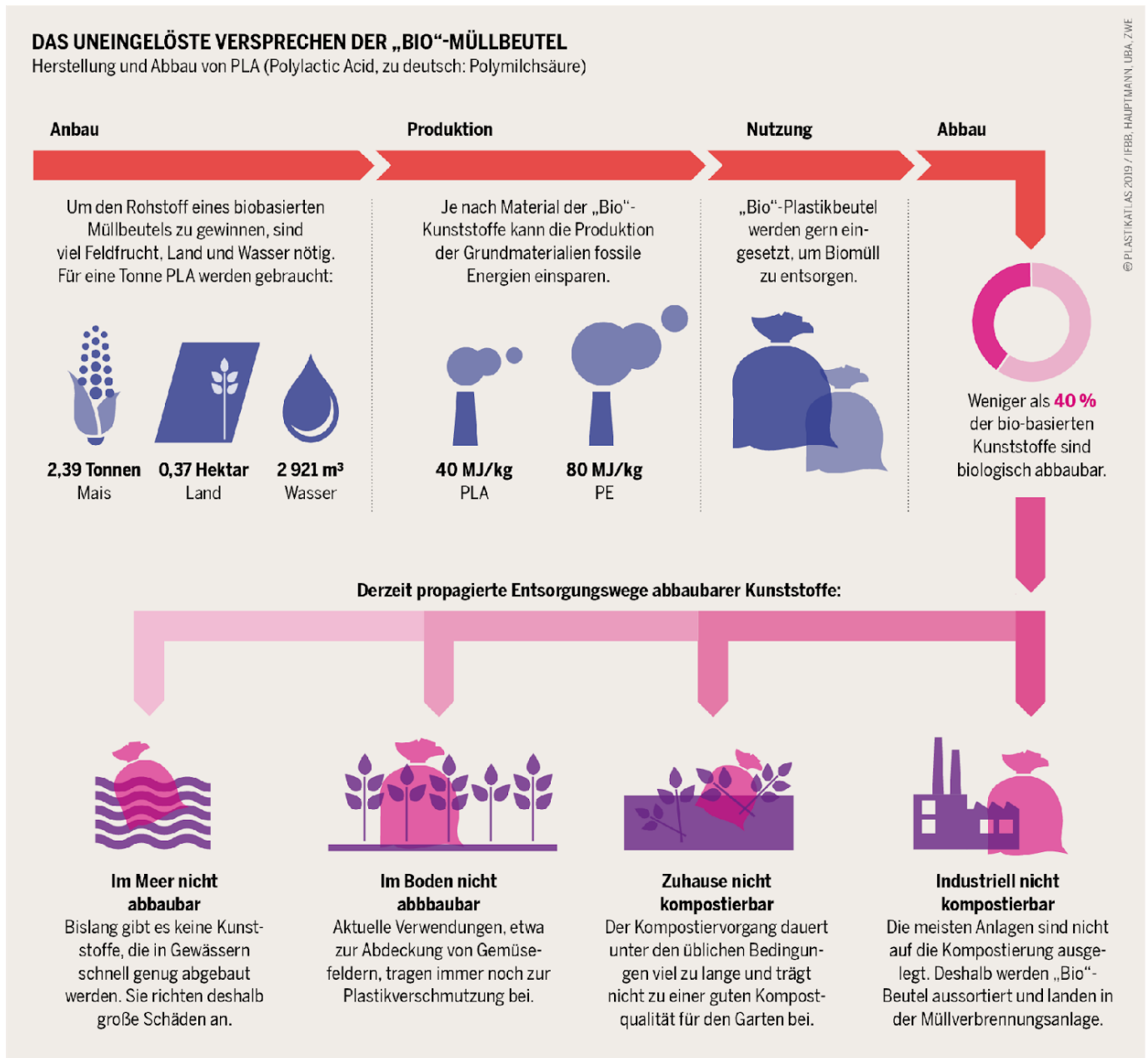


Abbildung 9: Exemplarisches Alltagsbeispiel Biomüllbeutel (IFBB, HAUPTMANN, UBA, ZWE 2018; zitiert nach BUND & HB-Stiftung 2019, S.35).

S. 23), welche chemischen Zusätze tatsächlich enthalten sind und durch eine Kompostierung in die Umwelt gelangen könnten, sodass die Aussortierung auch einer Vorsichtsmaßnahme entspricht. Abbildung 8 gibt an, wie viele der weltweit produzierten Bio-Kunststoffe im Jahr 2018 biologisch abbaubar waren.

Trotzdem haben biobasierte Kunststoffe auch Vorteile gegenüber herkömmlichen Kunststoffen aus Erdöl. Erdöl ist ein fossiler und somit endlicher Rohstoff. Im Gegensatz dazu kann man nachwachsende Rohstoffe immer wieder neu gewinnen, sodass

Kunststoffe, zum Beispiel aus Zuckerrohr, theoretisch nachhaltiger hergestellt werden könnten als aus Erdöl. Damit würde der „Verknappung von Erdöl“ (Biobasierte Kunststoffe n. d.) entgegengewirkt und für die Zeit vorgesorgt, in der Erdöl aufgebraucht sein könnte, auch wenn die Kunststoffherstellung nur einen kleinen Teil des Erdölverbrauchs ausmacht. Allerdings müssen zur umfassenden Ermittlung der Nachhaltigkeit auch die Folgen der agrarwirtschaftlichen Herstellung berücksichtigt werden. Im Falle des Zuckerrohrs kommt dieses meist aus Brasilien, wo es in Form von Monokulturen mit hohem Pestizideinsatz ange-

baut wird. Einige der dort eingesetzten Pestizide sind in Europa verboten, da sie u. a. Bienen schädigen. In Brasilien ist auch der Einsatz von gentechnisch verändertem Zuckerrohr erlaubt. Sollte der Anbau von Zuckerrohr, Mais oder Kartoffeln für die Herstellung von biobasierten Kunststoffen weiter ausgebreitet werden, wird der bereits bestehende Druck auf den Agrarsektor in einzelnen Teilen der Welt so groß, dass weitere Folgeschäden wie Wasserknappheit, Artensterben, Wüstenbildung und Verlust natürlicher Lebensräume unabdingbar wären (BUND & HB-Stiftung 2019, S. 34).

Bezeichnung	biobasiert	biokompatibel	biologisch abbaubar
<b>Definition</b>	Ausgangsstoff ist natürlichen Ursprungs	Keine negativen Auswirkungen auf Umwelt und Lebewesen	Tatsächlich kompostierbar
<b>Exemplarischer Kunststoff</b>	PE, PEF	PLA	PBS (aus Zuckerrohr)
<b>Exemplarischer Alltagsgegenstand</b>	Starre oder flexible Verpackungen, z. B. PET-Flasche	Biomüllbeutel, Joghurtbecher	Coffee-to-go-Becher
<b>Biologisch abbaubar</b>	Nein	Teilweise	Nur unter Idealbedingungen
<b>Verwertung/Recycling</b>	Kein Unterschied zu herkömmlichem Kunststoff	Unter bestimmten Bedingungen biologisch abbaubar	Kompostierbar in Verwertungsanlagen; auf privatem Komposthaufen möglich, dauert aber lange
<b>Vorteil</b>	Nachwachsende Rohstoffe als Grundlage	Keine Schadstoffe enthalten	Theoretisch kompostierbar
<b>(neue) Probleme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>andere Zusatzstoffe können enthalten sein</li> <li>Folgen stark industrialisierter Landwirtschaft: Monokultur, Einsatz von in EU teilweise verbotenen Pestiziden und gentechnisch veränderten Pflanzen erlaubt</li> <li>Agrarwirtschaftliche Folgeschäden</li> </ul>	Vergleichsweise teuer in der Produktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erst nach ca. zwölf Wochen bei 60 °C bis zu 90% zersetzt; übliche industrielle Kompostierdauer nur vier Wochen!</li> <li>Keine gesetzlich vorgeschriebene Dauer der Kompostierung</li> <li>nicht nachhaltig, wenn aus fossilen Rohstoffen hergestellt</li> </ul>
<b>Fazit</b>	Keine Option zur Herstellung umweltverträglicher Kunststoffe	Teurer als herkömmliche Produkte, nicht immer kompostierbar	Kompostierdauer in der Praxis zu kurz, Großteil landet in Müllverbrennungsanlage

Tabelle 1: Übersicht Bio-Kunststoffe.

Die Bezeichnung „biologisch abbaubar“ findet man auch auf manchen Verpackungen. Im Gegensatz zu „biobasiert“ ist hier tatsächlich eine Kompostierbarkeit möglich. Es muss allerdings beachtet werden, dass die Dauer der Zersetzung deutlich von den Rahmenbedingungen abhängt. Auf Komposthaufen im privaten Garten kann es durchaus ein bis zwei Jahre dauern, bis ein biologisch abbaubarer Kunststoff vollständig verrottet ist (Bunk & Schubert 2016, S. 23). In industriellen Kompostwerken hingegen entstehen höhere Temperaturen als auf dem heimischen Komposthaufen. Dadurch verläuft die Zersetzung von biologisch abbaubaren Kunststoffen schneller und vollständiger. Allerdings macht dieser Begriffszusatz keinerlei Aussage über die verwendeten Rohstoffe. Auch biologisch abbaubare Kunststoffe können aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden und sind so-

mit ebenso wenig nachhaltig wie herkömmliche Kunststoffe. Zudem ist die Dauer der Kompostierung nicht gesetzlich vorgeschrieben. Das bekannteste Anwendungsbeispiel ist sicherlich der Biomüllbeutel aus Kunststoff mit dem Keimling-Zeichen, welches für Kompostierbarkeit steht (vgl. Abb. 7, exemplarisches Alltagsbeispiel Biomüllbeutel). Dieser zersetzt sich bei „definierten Temperatur-, Sauerstoff- und Feuchtebedingungen in der Anwesenheit von Mikroorganismen oder Pilzen zu mehr als 90 Prozent“ (Umweltbundesamt 2009, S. 3). Hierzu ist anzumerken, dass biologisch abbaubare Biomüllbeutel jedoch in den meisten Fällen wie reguläre Kunststofftüten aussortiert und energetisch verwertet werden. Biomüllbeutel zersetzen sich bei etwa 60 Grad Celsius in einer Industriekompostierung innerhalb von zwölf Wochen bis zu 90%. Die Verrottungsdauer in den meisten industriellen An-

lagen beträgt aber nur 4 Wochen. „Eine Verlängerung dieses Prozesses ist in der Regel wirtschaftlich nicht sinnvoll“ (BUND & HB-Stiftung 2019, S. 35). Es entstehen somit keine humusbildenden Stoffe. Auch die beim Verrottungsprozess frei werdende Wärmeenergie werde nicht genutzt. Im Meer zersetzen sich biologisch abbaubare Kunststoffe nicht (BUND & HB-Stiftung 2019, S. 35; Rauner 2011, S. 3).

Bio-Kunststoffe können also biobasiert, biologisch abbaubar oder beides sein, je nachdem, was als Begriffszusatz auf das Produkt geschrieben wurde. In Abbildung 9 liegt beim exemplarischen Alltagsbeispiel Biomüllbeutel aus PLA ein biobasierter biologisch abbaubarer Kunststoff vor.

Als dritter Begriff findet sich „biokompatibel“ in der Literatur. Solche Kunststoffe sollen verträglicher für die Umwelt sein und somit grundsätzlich

keinen negativen Einfluss auf Lebewesen oder die Umwelt haben. In ihnen findet man keine Weichmacher oder andere Zusatzstoffe. Beispiel für einen biokompatiblen Rohstoff ist Polylactid (kurz: PLA). Dieser besteht aus aneinandergereihten Milchsäureketten (Polylactid n. d.). PLA zählt zu den Thermoplasten und kann wie herkömmliche Kunststoffe verwendet werden. Durch Tiefziehen ist es beispielsweise möglich, Joghurtbecher oder Gemüschalen daraus zu formen. Auch im 3D-Druck wird PLA häufig verwendet. Außerdem lässt sich der Stoff in Kompostieranlagen verwerten, wenn die bereits angeführten Bedingungen vorherrschen. Ein Grund, weshalb PLA dennoch nicht häufiger für Verpackungen eingesetzt wird, sind die vergleichsweise höheren Kosten für dessen Herstellung, besonders im Vergleich zu Polyethylen. Dies lässt sich auch daran erkennen, dass PLA in Abbildung 4 bei den 2017 in Deutschland produzierten Kunststoffprodukten nicht einmal auftaucht [!]. Der „Plastikatlas 2019“ des BUND formuliert sein Fazit zu Bio-Kunststoffen wie folgt: „Bio-Kunststoffe verlagern vielmehr nur die Problematik und lenken von den tatsächlichen Lösungen ab“ (BUND & HB-Stiftung 2019, S. 35).

Die oben stehende Tabelle zu Bio-Kunststoffen soll die gängigen Bezeichnungen anhand konkreter Beispiele nochmals für einen vergleichenden Überblick strukturieren und darstellen.

## Abschließende Beurteilung aus technikdidaktischer Sicht

Wir verwenden Kunststoffe tagtäglich in den unterschiedlichsten Formen und Artefakten. Das Buch „Kunststoffe, Werkstoffe unserer Zeit“ der Arbeitsgemeinschaft Deutsche Kunststoffindustrie kann einen ersten Einblick in Vorkommen, Eigenschaften und Herstellungsverfahren von Kunststoffen bieten. Es ist dabei allerdings entscheidend, wie viel Vorwissen mitgebracht wird, um einzelne Aussagen reflektieren und gegebenenfalls kritisch hinterfragen zu können. Es werden teils anschauliche Beispiele genannt und grafisch darge-

stellt, sodass auch Schülerinnen und Schüler theoretisch einen Bezug herstellen könnten. Viele Themen werden nur oberflächlich angerissen und nicht in ausreichender Tiefe erläutert, um eine unabhängige, eigene Meinung anbahnen zu können. Beispiele, wie das Energiesparen mit Kunststoffen oder Berufe, die nur indirekt mit Kunststoffen zu tun haben, verwirren mehr, als dass sie nützen. Eine fundierte Analyse unter Berücksichtigung des gesamten Produktzyklus' von Beginn der Herstellung bis hin zur Entsorgung bzw. Wiederverwertung und den (in Kauf genommenen und unbeabsichtigten) Folgen ist daher eine unabdingbare Grundvoraussetzung. Einzelne Bausteine des Heftes könnten bei entsprechend didaktischer Aufarbeitung als Recherchemedium für die Lehrperson dienen. Ohne eine intensive kritische Auseinandersetzung mit dem Buch sind andere wissenschaftliche Quellen zur Umsetzung im Technikunterricht sicherlich besser geeignet.

Im vorliegenden Text wurde mehrfach auf fruchtbare Ausgangslagen und -fragen hingewiesen, anhand derer das Ringen um zweckmäßige Lösungen im Zielkonflikt im Technikunterricht thematisiert werden kann, wenn der Einsatz eines vorteilhaften Werkstoffes innerhalb einer konkreten Problemstellung erarbeitet wird.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung von Mikrokunststoffen in der Meeresumwelt (BUND 2019, S. 5), mit freundlicher Genehmigung des Bundes für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Berlin.

Abbildung 2: Dimensionen und Erkenntnisperspektiven auf Technik (Ropohl 2009, S. 32).

Abbildung 3: Titelseite des Heftes der AG Deutsche Kunststoffindustrie (AGDK n. d.), mit freundlicher Genehmigung von PlasticsEurope Deutschland e.V., Frankfurt.

Abbildung 4: Anteile exemplarischer Kunststoffarten, die 2017 in Deutschland produziert wurden (Umweltbundesamt 2018, zitiert nach BUND & HB-Stiftung 2019, S. 11), mit freundlicher Genehmi-

gung des Bundes für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Berlin.

Abbildung 5: Durchschnittliche Nutzungsdauer von Kunststoffen nach Anwendungsbereichen (Geyer, R.; Jambeck, J.; Law, K. L. 2017, zitiert nach BUND & HB-Stiftung 2019, S. 12) mit freundlicher Genehmigung des Bundes für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Berlin.

Abbildung 6: Recycling des Kunststoffabfalls in Deutschland im Jahr 2017 (Converso Market & Strategy (2017; zitiert nach BUND & HB-Stiftung, 2019, S. 36).

Abbildung 7: Kompostierbarkeitszeichen der DIN CERTCO und der European Bioplastics nach EN 13432 (Wikipedia 2008).

Abbildung 8: Herstellung, Nutzung und biologische Abbaubarkeit von Bio-Kunststoffen (Bioplastics Market Data 2018; zitiert nach BUND & HB-Stiftung 2019, S. 35), mit freundlicher Genehmigung des Bundes für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Berlin.

Abbildung 9: Exemplarisches Alltagsbeispiel Biomüllbeutel (IFBB, HAUPTMANN, UBA, ZWE 2018; zitiert nach BUND & HB-Stiftung 2019, S. 36), mit freundlicher Genehmigung des Bundes für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Berlin.

## Literaturverzeichnis

ARBEITSGEMEINSCHAFT DEUTSCHE KUNSTSTOFFINDUSTRIE (AGDK) (Hrsg.) (n. d.): Kunststoffe – Werkstoffe unserer Zeit. 17. durchgesehene Auflage. Frankfurt am Main.

BIOBASIERTE KUNSTSTOFFE (n.d.): Verfügbar unter: <https://www.kunststoffe.de/themen/basics/biokunststoffe/definition/artikel/biobasierte-kunststoffe-2748001.html>

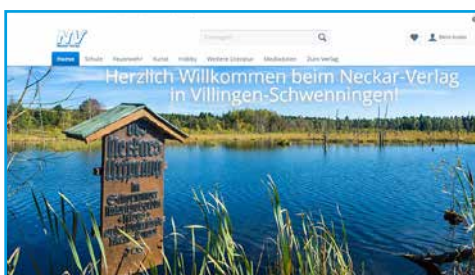
BIOPLASTICS MARKET DATA (2018): European Bioplastics. Report, S. 3f.; zitiert nach: BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND (BUND) & HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG (Hrsg.) (2019): PlastikAtlas. Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoff. 2. Auflage.

BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND (BUND) & HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG (Hrsg.) (2019): PlastikAtlas. Daten und



- Fakten über eine Welt voller Kunststoff. 2. Auflage. Verfügbar unter: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjo\\_Mfn-uLmAhVPMewKHVxgAxiQFjABegQIBhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.bund.net%2Ffileadmin%2Fuser\\_upload\\_bund%2Fpublikationen%2Fchemie%2Fchemie\\_plastikatlas\\_2019.pdf&usg=AOvVaw16P\\_4-oEdiQTta-WFDMuEH](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjo_Mfn-uLmAhVPMewKHVxgAxiQFjABegQIBhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.bund.net%2Ffileadmin%2Fuser_upload_bund%2Fpublikationen%2Fchemie%2Fchemie_plastikatlas_2019.pdf&usg=AOvVaw16P_4-oEdiQTta-WFDMuEH)
- BUND (Hrsg.) (2019): Mikroplastik und andere Kunststoffe in Kosmetika. BUND-Hintergrund. Verfügbar unter: [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload\\_bund/publikationen/meere/meere\\_mikroplastik\\_in\\_kosmetika.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/meere/meere_mikroplastik_in_kosmetika.pdf)
- BUNK, A. & SCHUBERT, N. (2016): Besser leben ohne Plastik. 14. Auflage. Ökonom Verlag München.
- CONVERSO MARKET & STRATEGY (2017): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017, S. 11. Verfügbar unter: <https://bit.ly/2VspOKI> zitiert nach: BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND (BUND) & HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG (Hrsg.) (2019): PlastikAtlas. Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoff. 2. Auflage, S. 36.
- DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG (DGUV) (Hrsg.) (2004): Kunststoff. Ein Handbuch für Lehrkräfte. Berlin.
- GEYER, R.; JAMBECK, J.; LAW, K. L. (2017): Production, use, and fate of all plastics ever made. In: Science Advances, Supplementary Material, Tabelle S4. Verfügbar unter: <https://bit.ly/2JalQzQ> zitiert nach: BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND (BUND) & HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG (Hrsg.) (2019): PlastikAtlas. Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoff. 2. Auflage, S. 12.
- INSTITUT FÜR BIOKUNSTSTOFFE UND BIOVERBUNDWERKSTOFFE (IfBB) (Hrsg.) (2018): Biopolymers – facts and statistics 2018. Production capacities, processing routes, feedstock, land and water use., S. 9. Verfügbar unter: <https://bit.ly/2PXfNzq>
- HAUPTMANN, M. (2017): Neue Einsatzpotentiale naturfaserbasierter Materialien in der Konsumgüterproduktion durch die technologische Entwicklung des Ziehverfahrens am Beispiel der Verpackung. Habilitationsschrift, TU Dresden, S. 26. Verfügbar unter: <https://bit.ly/2JzGIA9>.
- BUNDESUMWELTAMT (Hrsg.) (2012): Untersuchungen der Umweltwirkungen von Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen, 52, S. 45. Verfügbar unter: <https://bit.ly/2VqfjaH>.
- ZERO WASTE EUROPE INFOGRAPHICS (2018): Why „bioplastics“ won't solve plastic pollution. Verfügbar unter: <https://bit.ly/2uD1SE3>. zitiert nach: BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND (BUND) & HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG (Hrsg.) (2019): PlastikAtlas. Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoff. 2. Auflage, S. 35.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG (2020): Mikro-Kunststoffe. Verfügbar unter: <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/nanomaterialien/mikro-kunststoffe>.
- PLASTICS EUROPE DEUTSCHLAND E.V. (Hrsg.) (2019): Kunos coole Kunststoffkiste. Frankfurt am Main: Zarbock. Heft verfügbar unter: [https://www.plasticseurope.org/download\\_file/view/2979/936](https://www.plasticseurope.org/download_file/view/2979/936) Website verfügbar unter: <https://www.plasticseurope.org/de/resources/kunststoff-schule/kunos-coole-kunststoff-kiste>
- POLYLACTID (PLA) (n.d.): Verfügbar unter: <https://www.kunststoffe.de/themen/basics/biokunststoffe/biobasierte-kunststoffe/artikel/polylactid-pla-2822577.html>.
- RAUNER, M. (2011): Das Gute statt Plastik. Verfügbar unter: <https://www.zeit.de/zeit-wissen/2011/05/Plastiktueten>.
- ROPOHL, G. (2009): Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. 3. überarb. Aufl. Karlsruhe: Universitätsverlag.
- SENFET, B. (2016): Wie schädlich sind PET-Flaschen? Verfügbar unter: [www.wasserspender-miete.de/tipp/16/11/wie-schaedlich-sind-pet-flaschen](https://www.wasserspender-miete.de/tipp/16/11/wie-schaedlich-sind-pet-flaschen)
- STEIN, D. & STEIN, R. (2004): Polyurethanharze. Verfügbar unter: <https://www.unitracc.de/know-how/fach-buecher/instandhaltung-von-kanalisationen/sanierung/renovierung/beschichtungsverfahren/stoffe-fuer-die-moertelbeschichtung/reaktionsharzmoumltel-und-betone/pur-harze-polyurethanharze>
- STRÄTER, A. (2018): Recycling. So werden Plastikflaschen wiederverwertet. Verfügbar unter: <https://www.quarks.de/umwelt/muell/so-werden-plastikflaschen-wiederverwertet/>
- UMWELTBUNDESAMT (2018): Verwertung und Entsorgung ausgewählter Abfallarten: Kunststoffabfälle. Verfügbar unter: <https://bit.ly/2H7GyOy> zitiert nach: BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND (BUND) & HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG (Hrsg.) (2019): PlastikAtlas. Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoff. 2. Auflage, S. 11.
- UMWELTBUNDESAMT (2009): Biologisch abbaubare Kunststoffe. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3834.pdf>
- VERBRAUCHERZENTRALE (2018): Alternativen zu Plastik. Verfügbar unter: <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/umwelt-haushalt/wohnen/alternativen-zu-plastik-7019>
- VERBRAUCHERZENTRALE NIEDERSACHSEN E.V. (n.d.): Lebensmittelverpackungen aus Kunststoff. Verfügbar unter: [https://www.verbraucherzentrale-niedersachsen.de/sites/default/files/medien/166/dokumente/Lebensmittel-Verpackungen\\_aus\\_Kunststoff.pdf](https://www.verbraucherzentrale-niedersachsen.de/sites/default/files/medien/166/dokumente/Lebensmittel-Verpackungen_aus_Kunststoff.pdf)
- WIKIPEDIA (2008): Kompostierbarkeitszeichen der DIN CERTCO und der European Bioplastics nach EN 13432. Verfügbar unter: [https://de.wikipedia.org/wiki/Biologisch\\_abbaubarer\\_Kunststoff#/media/Datei:Biodegradable.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Biologisch_abbaubarer_Kunststoff#/media/Datei:Biodegradable.svg)

## ANZEIGE



**Besuchen Sie unseren Shop  
(in neuem Gewand) unter  
[www.neckar-verlag.de](http://www.neckar-verlag.de)**